Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 23, No. 1, Spring 2025, p. 31-44

The Effect of Cytokinin Spraying and Harvest Cutting on Essential Oil Production and Growth Characteristics of Thyme (*Thymus vulgaris* L.)

Y. Norouzi[1], M. Ghobadi[1*], M. Saeidi[1], D. Kahrizi[2], H. Dogan[3]

1- Department of Plant Production and Genetics, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran
2- Agricultural Biotechnology Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3- Department of Plant and Animal Production, Yozgat Bozok University, Yozgat, Turkey
(*- Corresponding Author Email: ghobadi.m@razi.ac.ir)

Received: 28 March 2024
Revised: 01 October 2024
Accepted: 16 October 2024
Available Online: 01 March 2025

How to cite this article:
Norouzi, Y., Ghobadi, M., Saeidi, M., Kahrizi, D., & Dogan, H. (2025). The Effect of Cytokinin Spraying and Harvest Cutting on Essential Oil Production and Growth Characteristics of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research, 23*(1), 31-44. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.87425.1315

Introduction

Thyme (*Thymus vulgaris* L.) is a perennial plant that belongs to Lamiaceae family, and native to the Mediterranean regions. Thyme is used in the medical, cosmetic and food industries due to its unique aroma and taste. The yield of thyme can be affected by environmental factors and agricultural management. Harvest cutting is one of the important factors determining the quantitative and qualitative characteristics of the thyme. It has also been reported that exogenous application of plant growth regulators at low concentrations has led to yield improvement. Cytokinins (CKs) are one of the five main types of plant growth regulators (PGRs) that affect plant growth and development. In addition to enhancing cell division and growth, CKs also prevent plant aging by inhibiting the breakdown of chlorophyll, nucleic acids, proteins, and other substances. CKs play a role in the transport and accumulation of photosynthesis products and affect the activity of enzymes. CKs also stimulate the growth of lateral branches, too. This study was conducted to investigate the effect of foliar spraying of cytokinin (benzylaminopurine) during harvest cuttings on the essential oil production and growth of thyme plant.

Materials and Methods

This experiment was carried out at the research farm of Razi University, Kermanshah, Iran (Longitude 47°, 9' east and latitude 34°, 21' north, 1319 m above sea level) during three consecutive years of 2017, 2018 and 2019. The research was conducted as a factorial experiment based on a randomized complete blocks design with three replications. The first factor was the harvest cutting (late June and late September) and the second factor was the concentrations of cytokinin (0, 100, 200 and 400 µM BAP). The measured traits included plant height, stem diameter, number of branches, leaf, stem and total dry weight, percentage and yield of essential oil. The analysis of variances (ANOVA) of data was performed using SAS ver.9 software and the means comparison was done using LSD test at 5% probability level.

Results and Discussion

The results of analysis of variance showed that the effect of harvest cutting on the traits of plant height, stem

https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.87425.1315

diameter, number of branches, leaf, stem and total dry weights and essential oil yield was significant, but its effect on the essential oil percentage was not significant. Also, the effect of foliar spraying of BAP was significant on all the mentioned traits. The interaction effect of harvest cutting × BAP spraying was significant on the number of branches, dry weight of leaves and stems, total dry weight and essential oil yield. A comparison of means showed that the highest plant height, number of sub-branches, leaf dry weight, stem dry weight and total dry weight (4355 kg ha^{-1}) were obtained by foliar spraying of 400 µM BAP. The percentage of essential oil increased with the increase of BAP concentration. The highest essential oil (2.35%) was obtained by foliar spraying of 200 µM BAP. The highest and lowest essential oil percentage were obtained in 2020 and 2018 experiments, respectively. Also, the yields of essential oil were different in different cuttings under the influence of BAP foliar application. The increasing of the essential oil yield in the first harvest was higher compared to the second harvest. Foliar spraying of 400 µM BAP in the first harvest produced the highest essential oil yield (59.95 kg ha^{-1}).

Conclusion

In general, the results of this study indicated that cytokinin spraying during the first harvest significantly influenced on the enhancement of traits such as plant height (16%), number of lateral branches (59%), leaf dry weight (200%), total dry weight (194%), and essential oil production (108-217%) in thyme. Additionally, as the plant aged (in the third year of the experiment), this enhancement in essential oil production was more. To enhance essential oil yield and vegetative growth of thyme, it is recommended to apply 400 µM cytokinin spraying during the first harvest.

Keywords: Concentration, Growth regulator, Leaf dry matter, Yield

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۳، شماره ۱، بهار ۱٤٠٤، ص ٤٤-۳۱

تأثیر محلول‌پاشی سیتوکنین و چین برداشت بر تولید اسانس و خصوصیات رویشی آویشن (*Thymus vulgaris* L.)

یاسین نوروزی[1]، مختار قبادی[1*]، محسن سعیدی[1]، دانیال کهریزی[2]، هولیا دوگان[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۵

چکیده

آویشن (*Thymus vulgaris* L.) گیاهی چندساله از تیره Lamiaceae و بومی مدیترانه است. عملکرد گیاه آویشن تحت تأثیر عوامل محیطی و مدیریت کشاورزی قرار می‌گیرد. با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی سیتوکنین (از نوع بنزیل آمینوپورین) در چین‌های برداشت بر عملکرد اسانس و رشد رویشی گیاه آویشن، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه رازی در سه سال متوالی ۱۳۹۷، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا شد. چین‌های برداشت (اواخر خرداد و اواخر شهریور) به‌عنوان فاکتور اول و غلظت‌های سیتوکنین (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار، از منبع بنزیل آمینوپورین) به‌عنوان فاکتور دوم بودند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر چین روی صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه جانبی، وزن خشک‌های برگ، ساقه و کل و عملکرد اسانس معنی‌دار، ولی بر درصد اسانس معنی‌دار نبود. همچنین، محلول‌پاشی سیتوکنین روی تمام صفات قیدشده معنی‌دار گردید. اثر متقابل چین × محلول‌پاشی روی صفات تعداد شاخه جانبی، وزن خشک برگ و ساقه، وزن خشک کل و عملکرد اسانس معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و وزن خشک کل (۴۳۵۵ کیلوگرم در هکتار) با محلول‌پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکنین به‌دست آمد. بیشترین درصد اسانس (۲/۳۵ درصد) و عملکرد اسانس (۵۹/۹۵ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب با محلول‌پاشی ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار سیتوکنین در چین اول حاصل شد. به‌طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که محلول‌پاشی سیتوکنین در چین اول برداشت تأثیر بیشتری داشت و ارتفاع بوته (۱۶ درصد)، تعداد شاخه جانبی (۵۹ درصد)، وزن خشک برگ (۲۰۰ درصد)، وزن خشک کل (۱۹۴ درصد) و عملکرد اسانس (۱۰۸-۲۱۷ درصد) را افزایش داد. همچنین، با افزایش سن گیاه (سال سوم) این افزایش عملکرد بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: تنظیم‌کننده رشد، عملکرد، غلظت، ماده خشک برگ

مقدمه

آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) گیاهی چندساله از تیره *Lamiaceae* است. از این گیاه به‌عنوان غذا و مصارف دارویی استفاده می‌شود و به‌دلیل ترکیبات آن از جمله تیمول و کارواکرول که در صنایع دفع آفات، مواد غذایی، بسته‌بندی مواد غذایی و لوازم آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شود، گیاه آویشن از اهمیت اقتصادی بالایی برخوردار است (Silva *et al*., 2021). یک مسئله مهم در تولید گیاهان دارویی، افزایش مقدار زیست‌توده گیاهان و میزان متابولیت ثانویه بدون استفاده از مواد شیمیایی مضر مانند کودهای شیمیایی، علف‌کش‌ها و سموم دفع آفات است (Bybordi, 2007).

محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه (PGRs) در بهبود رشد، عملکرد و تولید اسانس گیاهان دارویی اهمیت یافته است (Khan, Afreen, Quasar, Khanam, & Uddin, 2023; Zahid, Iftikhar, Shimira, Ahmad, & Kaçar, 2023). PGRs در غلظت‌های کم، فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه را تغییر داده یا تنظیم می‌کنند. اثربخشی PGRs به عوامل مختلفی مانند روش و زمان کاربرد، غلظت، گونه گیاهی و شرایط محیطی بستگی دارد (Grzesik, 1989). غلظت مناسب کاربرد PGRs برای هر گیاه، نقش مهمی در بهبود نتایج دارد، زیرا واکنش گیاهان به غلظت‌های مختلف، متفاوت است (Carey, Whipker, McCall, & Buhler, 2008).

۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲- گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳- گروه تولیدات گیاهی و دامی، دانشگاه یوزگات، یوزگات، ترکیه
(*- نویسنده مسئول: Email: ghobadi.m@razi.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.87425.1315

سیتوکینین‌ها یکی از پنج نوع اصلی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی هستند که رشدونمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Honig, Plihalova, Husickova, Nisler, & Dolezal, 2018). علاوه‌بر تقویت تقسیم سلولی و رشدونمو گیاهان، سیتوکینین‌ها همچنین با مهار تجزیه کلروفیل، اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها و سایر مواد در گیاهان و توزیع مجدد آمینواسیدهای ضروری، هورمون‌ها، نمک‌های معدنی و سایر ترکیبات، از پیری گیاه جلوگیری می‌کنند (Ullah *et al*., 2018). سیتوکینین‌ها در حمل‌ونقل و تجمع محصولات فتوسنتز و تأثیر بر فعالیت سایر آنزیم‌ها نقش دارند و همچنین تأثیر زیادی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دارند (Wang, Yang, & Chan, 2023). سیتوکینین مسئول تحریک رشد شاخه‌های جانبی است، همچنین باعث تحریک سیتوکینز و در نتیجه تقسیم سلولی می‌شود (Sosnowski, Truba, & Vasileva, 2023). گزارش شده است که محلول‌پاشی اسیدآمینه و سیتوکینین باعث افزایش پارامترهای رشد و عملکرد گیاه شد. با افزایش غلظت اسیدآمینه و سیتوکینین، صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه، وزن خشک برگ، سطح برگ، عملکرد دانه، درصد و عملکرد روغن گیاه *Hibiscus sabdariffa* L. افزایش یافت (Mahdy, Mubarak, El-Azab, Mohammed, & Abd El-Rheem, 2019). محلول‌پاشی اکسین و سیتوکینین (بنزیل آدنین) به‌دلیل افزایش جذب یون‌های K^+، Ca^{2+} و Mg^{2+}، تجمع اسیدهای آمینه آزاد، قندهای محلول و پروتئین‌های محلول و فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز، صفات رشدی را بهبود بخشید (Abdel Latef, Akter, & Tahjib-Ul-Arif, 2021). شایان ذکر است که اثر مثبت سیتوکینین‌ها بر فتوسنتز نیز به تأخیر در پیری برگ نسبت داده می‌شود (Zahid *et al*., 2023). در یک مطالعه روی آویشن باغی، بیشترین رشد زیست‌توده در غلظت ۰/۵ میکرومولار بنزیل‌آدنین (BA) به دست آمد. ترکیبات اصلی اسانس شامل γ–ترپینن، پی‌سایمن و تیمول بودند و تغییرات کمّی این ترکیبات تحت تأثیر غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد مشاهده شد (Affonso, Bizzo, Lage, & Sato, 2009). در مطالعه دیگر روی آویشن باغی، نتایج نشان داد که ترکیب GA_3 یا IBA به همراه متانول به‌طور قابل توجهی بر طول و عرض برگ، تعداد شاخه‌ها، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک گیاه، وزن بذر، میزان اسانس و مقدار تیمول تأثیر داشت (Bahman, Mehrafarin, & Naghdi Badi, 2017).

گزارش شده است که شرایط آب‌وهوایی در طول دوره رویشی تأثیر قابل‌توجهی بر روی عملکرد کمّی و کیفی گیاه آویشن دارد (Beata, & Kieltyka-Dadasiewicz, 2015). در یک مطالعه روی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak.) گزارش شد که بیشترین و کمترین عملکرد ماده خشک به‌ترتیب در چین اول و چهارم به دست آمد. همچنین، آن‌ها گزارش کردند که بیشترین (۳/۰۷ درصد) و کمترین (۲/۸۳ درصد) اسانس به‌ترتیب مربوط به چین‌های اول و سوم برداشت بود (Akbarinia, Sharifi Ashoorabadi, & Mirza, 2010). در مطالعه دیگر روی آویشن باغی، نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد ماده خشک و عملکرد اسانس در چین اول به دست آمد (Amani Machiani, Javanmard, Ostadi, & Morshedloo, 2021). در بررسی عملکرد اسانس دو گونه آویشن *Thymus daenensis* Celak و *Thymus vulgaris* L. گزارش شد که بیشترین عملکرد اسانس در سال دوم آزمایش تولید شد (Safaii, Ashoorabadi, Emami, & Afiuni, 2014).

با توجه به مطالب ذکرشده، این آزمایش با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف سیتوکینین در چین‌های مختلف برداشت روی عملکرد اسانس و همچنین برخی خصوصیات رشد رویشی گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) تحت شرایط آب‌وهوایی شهرستان کرمانشاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه در سه سال متوالی ۱۳۹۷، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا گردید. مختصات جغرافیایی محل اجرای آزمایش شامل طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ۱۳۱۹ متر ارتفاع از سطح دریا می‌باشد. پس از آماده‌سازی اولیه زمین، به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری از عمق ۳۰–۰ سانتی‌متری انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین، جدول ۲ نیز اطلاعات هواشناسی منطقه را در زمان اجرای آزمایش به‌صورت خلاصه نشان می‌دهد.

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل چین برداشت (اواخر خرداد و اواخر شهریور در مرحله گل‌دهی) و فاکتور دوم شامل غلظت‌های هورمون سیتوکینین (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار) بود. سیتوکینین از منبع بنزیل آمینو پورین (BAP) ساخت شرکت Duchefa کشور هلند تأمین شد. آویشن کشت‌شده در این آزمایش گونه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) رقم Deutscher Winter از شرکت دانش‌بنیان پارس اکسیر فارس در اردیبهشت سال ۱۳۹۷ تهیه شد. هر کرت شامل شش ردیف کاشت به فاصله ۴۰ سانتی‌متر و به‌طول سه متر بود. فاصله بین دو بوته بر روی خطوط کاشت ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کشت نشاها در اوایل اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۷ و از طریق انتقال نشاهای کشت‌شده در خزانه انجام گرفت.

جدول ۱- تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical analysis of the soil

بافت Texture	مس Cu (mg kg-1)	روی Zn (mg kg-1)	آهن Fe (mg kg-1)	منگنز Mn (mg kg-1)	پتاسیم K (mg kg-1)	فسفر P (mg kg-1)	نیتروژن N (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	اسیدیته PH	کلسیم کربنات CaCo3 (%)
رسی-سیلتی Clay-silty	1.8	0.48	4.5	14	360	18	0.09	0.99	7.8	28

جدول ۲ـ اطلاعات هواشناسی منطقه در دوره اجرای آزمایش

Table 2- Meteorological information of the region during the experiment period.

اطلاعات هواشناسی Weather information	سال Year	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد Juan	تیر July	مرداد August	شهریور September	مهر October	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March
بارندگی Rainfall (mm)	۱۳۹۷ 2018	63.4	169	5.2	0	0	0	29.1	125.3	104	41.5	96.3	79.01
	۱۳۹۸ 2019	194.8	17.5	0	0	0	0	15.4	56.1	114.8	25.6	43.5	148.2
	۱۳۹۹ 2020	88.13	38.86	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-
متوسط دما Mean temperature (° C)	۱۳۹۷ 2018	14.9	15.9	23.9	30.6	31.3	27.1	21.1	12.3	7.4	4.5	5.4	6.5
	۱۳۹۸ 2019	10.4	16.7	26	29.9	31.1	26.3	21.6	10.2	5.9	4.4	3.7	9.7
	۱۳۹۹ 2020	11.5	17.7	25.7	28.89	29.64	26.09	-	-	-	-	-	-
متوسط رطوبت Mean humidity (%)	۱۳۹۷ 2018	47	64	33	16	17	17	32	62	71	61	60	60
	۱۳۹۸ 2019	65	51	29	17	18	18	25	53	67	58	55	56
	۱۳۹۹ 2020	55.23	39.97	13.52	13.48	13.29	12.06	-	-	-	-	-	-

تیمارهای هورمون سیتوکینین قبل از گل‌دهی اعمال شد. برای جلوگیری از تبخیر هورمون، محلول‌پاشی نزدیک غروب آفتاب انجام گرفت. جهت جذب بهتر هورمون سیتوکینین، از ماده توین- ۲۰ با غلظت ۰/۱ درصد به‌عنوان سورفکتانت استفاده شد. برای گیاهان شاهد، محلول‌پاشی با آب انجام شد. آبیاری مزرعه متناسب با شرایط محیط و مرحله رشدی گیاه، در ابتدا به‌صورت نشتی و سپس به‌صورت بارانی انجام گرفت. وجین علف‌های هرز در طی فصل رشد به‌صورت دستی انجام شد. جهت مطالعه صفات مورد بررسی، نمونه‌برداری در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی (کد BBCH65) (Meier, 2018) انجام گرفت. ارتفاع گیاه از سطح خاک تا انتهای بلندترین ساقه توسط خط‌کش اندازه‌گیری شد. قطر ساقه اصلی در ارتفاع حدود ۱۰ سانتی‌متری بالای سطح خاک و به‌وسیله کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. شمارش تعداد شاخه جانبی به‌صورت تصادفی از پنج بوته خطوط میانی انجام گرفت. جهت اندازه‌گیری وزن خشک برگ، ساقه و وزن خشک کل، بوته‌های موجود در سه مترمربع از هر کرت برداشت شد. آویشن برداشت شده در هوای آزاد و سایه خشک گردید و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. اسانس‌گیری از برگ‌های خشک‌شده آویشن در سایه، به‌روش تقطیر با آب و توسط دستگاه کلونجر انجام گرفت. برای این کار، مقدار ۳۰ گرم ماده گیاهی خشک را وزن نموده، سپس به آن، مقدار ۰/۵ لیتر آب در بالن‌هایی به حجم یک لیتر اضافه گردید. بالن‌ها را روی هیتر قرار داده و اتصالات مربوطه وصل گردید. بعد از روشن کردن هیتر، ابتدا دما روی حداکثر هشت درجه نزدیک به دمای جوش قرار گرفت و شیر آب باز شد و حدود ۱۰ الی ۱۵ دقیقه بعد به‌محض جوش آمدن آب داخل بالن‌ها، دما روی سه درجه تنظیم شد. به‌مدت سه ساعت (در گیاهان مختلف این زمان متفاوت است)، آویشن داخل بالن‌ها جوشانده شد تا مقدار اسانس در لوله‌های

تعبیه‌شده جمع‌آوری گردد. سپس ویال‌های خالی را وزن نموده و با استفاده از پیپت، اسانس را داخل ویال‌ها تخلیه نموده و وزن پر آن ثبت گردید. اسانس به‌دست‌آمده با استفاده از مقدار مناسب سدیم سولفات (۰/۱ وزن اسانس به‌دست‌آمده) خشک شد. سپس وزن خالص اسانس برای هر نمونه تعیین شد (Omidbeigi, 2000). عملکرد اسانس از حاصل‌ضرب درصد اسانس در عملکرد ماده خشک برگ در هکتار تقسیم بر عدد ۱۰۰ محاسبه شد. به‌منظور تجزیه واریانس داده‌ها، پس از بررسی نرمال بودن آن‌ها، تجزیه مرکب در سه سال با استفاده از نرم‌افزار SAS ver.9 انجام شد. در تجزیه مرکب، سال به‌عنوان اثر تصادفی و چین برداشت و سیتوکینین به‌عنوان اثر ثابت در نظر گرفته شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثرات ساده چین برداشت، سیتوکینین و اثر متقابل سال در سیتوکینین روی ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۱) نشان داد که ارتفاع بوته تحت تأثیر غلظت‌های مختلف سیتوکینین متفاوت بود. در هر سه سال آزمایش، با افزایش غلظت سیتوکینین در مقایسه با عدم کاربرد آن، ارتفاع بوته افزایش معنی‌داری یافت. نتایج نشان داد با وجودی‌که از نظر تأثیر بر ارتفاع بوته بین غلظت‌های مختلف سیتوکینین در هر سه سال از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت؛ امّا بیشترین ارتفاع بوته (۱۸/۸۴ سانتی‌متر) مربوط به محلول‌پاشی غلظت ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در سال سوم آزمایش (سال ۱۳۹۹) بود (شکل ۱). افزایش ارتفاع بوته تحت تأثیر محلول‌پاشی سیتوکینین می‌تواند به‌دلیل افزایش تعداد و اندازه سلول و یا افزایش جذب مواد غذایی باشد (Halmann, Frei, & Steinfeld, 2002). همچنین، تفاوت ارتفاع بوته در سال‌های مختلف آزمایش می‌تواند به‌دلیل افزایش سن گیاه یا شرایط آب‌وهوایی باشد. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی می‌توانند تقسیم و طویل شدن سلول را از طریق افزایش انعطاف‌پذیری دیواره سلول تحریک کنند و در نتیجه باعث افزایش رشد شوند (Rohamare *et al*., 2013). گزارش شده است که محلول‌پاشی سیتوکینین (رایج‌ترین نوع سیتوکینین) روی گیاه سیب‌زمینی باعث افزایش ارتفاع بوته و تعداد ساقه اصلی شد (Doustipour, Barmaki, Hassanpanah, & Khomari, 2016). محلول‌پاشی کینوا[1] با سیتوکینین باعث افزایش ارتفاع بوته شد (Salek Mearaji, Tavakoli, & Niazsepahvand, 2020). همچنین نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۱۹/۱۷ سانتی‌متر) در چین اول برداشت به دست آمد که در مقایسه با چین دوم برداشت حدود ۱۶ درصد افزایش نشان داد (شکل ۲). بیشتر بودن ارتفاع بوته در چین اول برداشت می‌تواند متأثر از شرایط آب‌وهوایی طول دوره رشد باشد. میانگین دما در برداشت اول نسبت به برداشت دوم کمتر بوده است. همچنین متوسط درصد رطوبت و بارندگی نیز بیشتر بوده است (جدول ۲).

تعداد شاخه فرعی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثرات ساده چین برداشت، سیتوکینین و اثرات متقابل سال در سیتوکینین، سال در چین و چین در سیتوکینین در سطح احتمال یک درصد روی تعداد شاخه فرعی معنی‌دار بودند (جدول ۳). تعداد شاخه فرعی در هر بوته تحت تأثیر محلول‌پاشی سیتوکینین در سال‌های مختلف آزمایش متفاوت بود. در هر سه سال آزمایش، با افزایش غلظت سیتوکینین در مقایسه با عدم کاربرد آن (شاهد) تعداد شاخه‌های فرعی در هر بوته افزایش معنی‌داری نشان داد. به‌طور مثال، بیشترین تعداد شاخه فرعی (۲۳/۶۷ شاخه) در تیمار محلول‌پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در سال سوم آزمایش به‌دست آمد که در مقایسه با کمترین تعداد شاخه فرعی (۱۴/۵ شاخه) در شاهد در سال اول آزمایش، حدود ۶۳ درصد افزایش نشان داد (شکل ۳). براساس نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین تعداد شاخه فرعی در هر سه سال آزمایش، در چین اول حاصل شد (شکل ۴). به‌طور کلی، بالاترین تعداد شاخه فرعی در چین اول سال سوم آزمایش به دست آمد (شکل ۴). همچنین، بین چین اول برداشت در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴). اثر غلظت‌های مختلف سیتوکینین بر تعداد شاخه فرعی در چین اول و دوم برداشت متفاوت بود (جدول ۴). به‌طور مثال، تأثیر غلظت‌های مختلف سیتوکینین در چین اول برداشت در مقایسه با چین دوم بیشتر بود. در هر دو چین برداشت، با افزایش غلظت سیتوکینین تعداد شاخه فرعی افزایش نشان داد. به‌طور کلی، بیشترین تعداد شاخه فرعی (۲۳/۸۹ شاخه) در تیمار محلول‌پاشی غلظت ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در چین اول برداشت حاصل شد که در مقایسه با کمترین شاخه فرعی (۱۵ شاخه) به‌دست‌آمده در تیمار عدم کاربرد سیتوکینین در چین دوم برداشت، حدود ۵۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). یکی از دلایل افزایش تعداد شاخه فرعی تحت تأثیر محلول‌پاشی سیتوکینین می‌تواند به‌دلیل کاهش غالبیت انتهایی باشد (Azizi *et al*., 2015). گزارش شده است که ترکیب سیتوکینین به همراه اکسین‌ها باعث افزایش سرعت تکثیر شاخه‌ها می‌شود (Palai, Rout, & Das, 1997). محلول‌پاشی گیاه دارویی بادرنجبویه

1- *Chenopodium quinoa* Willd

(*Mellisa officinalis* L.) با سیتوکینین باعث افزایش تعداد شاخه فرعی، محتوای کلروفیل، تعداد برگ، ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن تر اندام هوایی، طول میان‌گره و تعداد گره شد (Valiyari & Nourafcan, 2018). در یک مطالعه روی گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* willd) گزارش شد که حداکثر تعداد شاخه فرعی در محلول‌پاشی ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین حاصل شد (Salek Mearaji *et al.*, 2020).

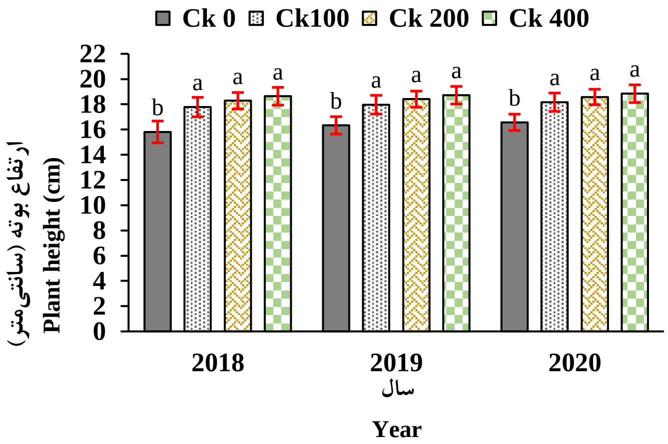
جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب اثرهای سال، نیتروژن، سیتوکینین و اثر متقابل آن‌ها از نظر صفات مورد بررسی در گیاه آویشن

Table 3- Combined analysis of variance for the effects of year, nitrogen, cytokinin and their interaction in terms of investigated traits in thyme plants

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه فرعی No. of branches	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن خشک کل Total dry weight	قطر ساقه Stem diameter	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield
سال (Y) Year	2	1.02^{ns}	41.76**	92641.62^{ns}	267796.01^{ns}	436489.56^{ns}	0.28^{ns}	0.39*	311.12^{ns}
بلوک (سال) Block (Year)	6	1.69	0.22	786129.79	698267.58	2838708.28	0.31	0.05	293.14
چین برداشت (A) Harvest cutting	1	127.81**	125.34**	9046840.06**	3614912.34**	240999153.13**	2.50**	0.008^{ns}	4432.26**
سیتوکینین (B) Cytokinin	3	22.33**	143.34**	3808723.67**	1856503.01**	10958391.31**	0.46**	0.15**	2520.97**
Y × A	2	0.04^{ns}	0.26**	2629.01^{ns}	4300.18^{ns}	11811.50^{ns}	0.02*	0.003^{ns}	4.60^{ns}
Y × B	6	0.10**	0.26**	1211.46^{ns}	5867.18^{ns}	6729.41^{ns}	0.002^{ns}	0.0005^{ns}	2.33^{ns}
A × B	3	0.02^{ns}	0.82**	69318.24**	113851.27**	352197.53**	0.01^{ns}	0.005^{ns}	70.68**
Y × A ×B	6	0.0009^{ns}	0.02ns	1123.03^{ns}	2602.82^{ns}	6333.69^{ns}	0.004^{ns}	0.005^{ns}	2.21^{ns}
خطا Error	42	0.99	1.61	124372.27	154298.06	512364.09	0.17	0.01	70.47
ضریب تغییرات CV (%)		20.04	6.66	5.58	34.79	20.97	4.62	22.07	24.66

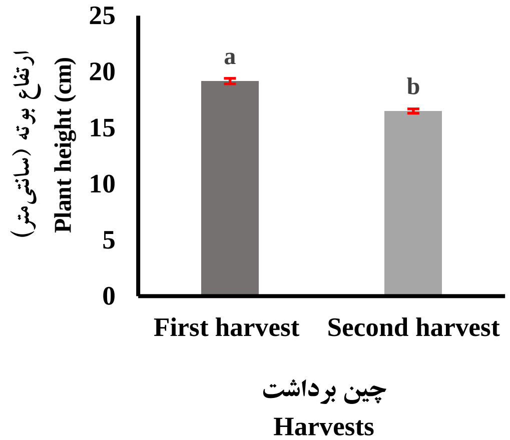
ns، * و **: به‌ترتیب بدون اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns: no significant, **, *: Significant at 1 and 5% probability levels, respectively.



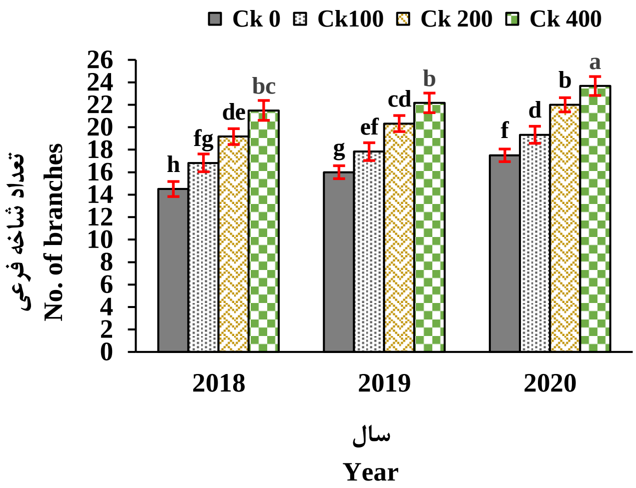
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت‌های سیتوکینین × سال از نظر ارتفاع بوته

Figure 1- Means comparison of cytokinin concentrations × year interaction in terms of the plant height (LSD=1.16)



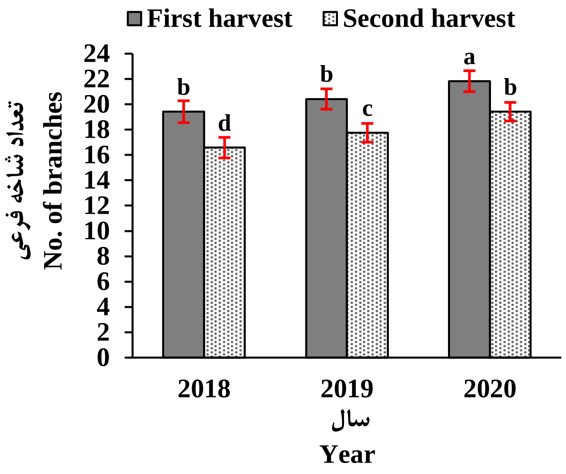
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر چین برداشت بر ارتفاع بوته

Figure 2- Means comparison of harvest cutting in terms of the plant height (LSD=0.47)



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت‌های سیتوکینین×سال از نظر تعداد شاخه فرعی

Figure 3- Means comparison of cytokinin concentrations×year interaction in terms of the number of branches (LSD=1.48)



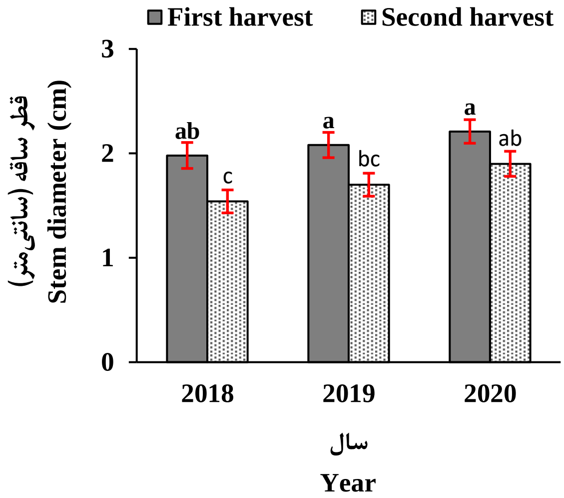
شکل ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل چین×سال از نظر ارتفاع بوته

Figure 4- Means comparison of cuttings×year interaction in terms of the number of branches (LSD=1.05)

قطر ساقه

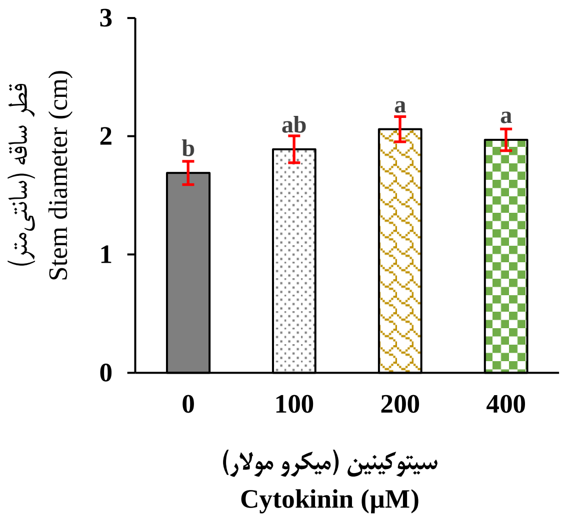
بررسی واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثرات ساده چین برداشت، سیتوکینین و اثر متقابل سال در چین روی قطر ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها (شکل ۵) نشان داد که با افزایش غلظت سیتوکینین، قطر ساقه در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری یافت. هرچند از نظر آماری بین غلظت‌های مختلف سیتوکینین تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

بیشترین قطر ساقه (۲/۰۶ سانتی‌متر) مربوطه بـه محلول‌پاشی ۲۰۰ میکرومولار سیتوکینین بود (شکل ۵). قطر ساقه در چین‌های مختلف برداشت متفاوت بود. در هر سه سال آزمایش، قطر ساقه در چین اول نسبت به چین دوم برداشت بیشتر بود. به‌طور کلی، بیشترین قطر ساقه در چین اول و در سال سوم (۱۳۹۹) آزمایش به‌دست آمد (شکل ۶). همچنین، بین چین اول در هر سال آزمایش از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۶).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل چین×سال از نظر قطر ساقه

Figure 5- Means comparison of cuttings×year interaction in terms of the stem diameter (LSD=0.34)



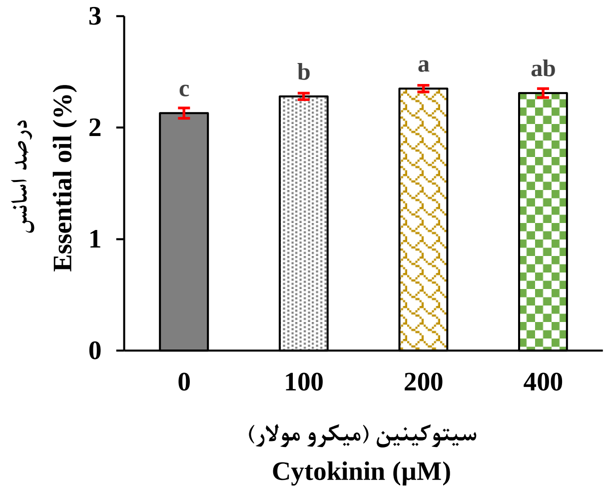
شکل ٦- مقایسه میانگین غلظت‌های سیتوکینین از نظر قطر ساقه

Figure 6- Means comparison of cytokinin concentrations in terms of the stem diameter (LSD=0.28)

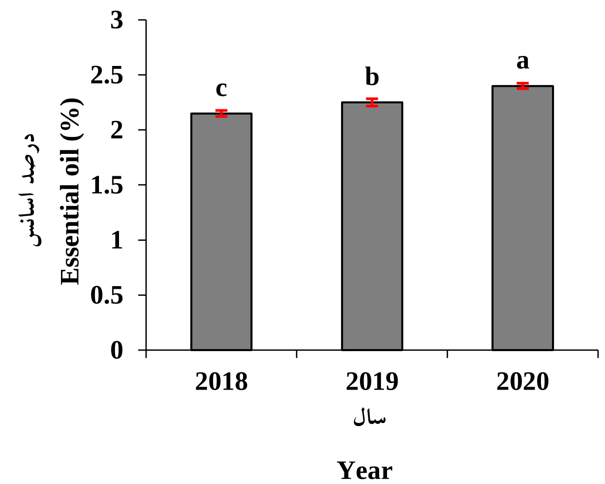
سیتوکینین‌ها (به‌ویژه BAP) با تحریک تقسیم و تمایز سلول‌ها در نواحی مریستمی و همچنین تحریک سنتز پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک باعث تقویت رشد ساقه‌ها و افزایش قطر آن‌ها می‌شوند (Rademacher, 2015). گزارش شده است که محلول‌پاشی محرک‌های زیستی روی گیاه آویشن باغی باعث افزایش قطر ساقه شد (Naghdi Badi *et al*., 2015). همچنین، در یک مطالعه دیگر روی گیاه بادرنجبویه گزارش شده است که محلول‌پاشی با سیتوکینین باعث افزایش قطر ساقه شد (Valiyari & Nourafcan, 2018).

درصد اسانس

اثر سال و سیتوکینین بر درصد اسانس آویشن به‌ترتیب در سطوح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). با افزایش غلظت سیتوکینین، درصد اسانس آویشن به‌شکل معنی‌داری افزایش یافت. هر چند براساس نتایج مقایسه میانگین اختلاف آماری معنی‌داری بین غلظت ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار وجود نداشت. امّا به‌طور کلی، بیشترین درصد اسانس (۲/۳۵ درصد) با محلول‌پاشی ۲۰۰ میکرومولار سیتوکینین حاصل شد (شکل ۷). افزایش درصد اسانس آویشن تحت تأثیر محلول‌پاشی سیتوکینین ممکن است به‌دلیل افزایش سطح برگ و در نهایت، افزایش تعداد و اندازه سلول‌های تجمع‌کننده اسانس که در سطح برگ قرار دارند، باشد. بیوسنتز و تجمع اسانس گیاه آویشن در کرک‌های غده‌ای انجام می‌گیرد (Hornok, 1992; Prakash, 1990). تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه می‌توانند در شکل‌گیری و توسعه بیوسنتز اسانس و ساختارهای ذخیره‌سازی تأثیر بگذارند. اثر استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه بر تشکیل ساختار غدد ترشحی اسانس در طی مطالعه اثر سیتوکینین بر تولید اسانس گیاه *Thimus mastichina* مشاهده شد (Farooqi, Khan, & Sharma, 2003). آن‌ها گزارش کردند که کاربرد بنزیل آدنین (BA) در غلظت ۰/۱ میلی‌گرم باعث افزایش درصد اسانس شد. در برگ گیاهان *T. mastichina* تیمارشده با BA، تراکم بیشتری از کرک‌های غده‌ای (محل تجمع اسانس) وجود داشت. در گیاه اسطوخودوس (*Lavandula dentata*) مقدار بیشتری برگ در گیاهان کشت‌شده در شرایط آزمایشگاهی به‌مدت هشت هفته با غلظت ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر (BA) گزارش شد. برگ‌ها رنگ سبز بیشتری نشان دادند و برای مدت طولانی‌تری جوان ماندند. اثر مشاهده‌شده با تأخیر پیری برگ و تمایز غده ترشحی همراه بود (Sudria *et al*., 2004). محققان گزارش کرده‌اند که تغییر در درصد اسانس به‌دلیل تعداد کرک غده‌ای روی سطح برگ گیاهان است (Khetsha, Sedibe, Pretorius, & van der Watt, 2021; Gershenzon, 1994). بنابراین، تغییر محتوای اسانس پس از محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد با تغییر سطح برگ و تراکم کرک غده‌ای برگ، قابل توصیف است. بین سال‌های مختلف آزمایش از نظر تأثیر بر درصد اسانس آویشن باغی تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. به‌ترتیب بیشترین (۲/۴) و کمترین (۲/۱۵) درصد اسانس در سال ۱۳۹۹ و ۱۳۹۷ حاصل شد که حدود ۱۱/۶ درصد افزایش نشان داد (شکل ۸). شرایط محیطی طی دوره رشد گیاه در سال‌های مختلف آزمایش متفاوت بود.



شکل ۷- مقایسه میانگین غلظت‌های سیتوکینین از نظر درصد اسانس
Figure 7- Means comparison of cytokinin concentrations in terms of the essential oil percentage (LSD=0.07)



شکل ۸- مقایسه میانگین سال از نظر درصد اسانس
Figure 8- Means comparison of year in terms of the essential oil percentage (LSD=0.06)

تفاوت در پارامترهای هواشناسی (بارندگی، دما و درصد رطوبت) می‌تواند روی درصد اسانس تأثیرگذار باشد. در بررسی اثر شرایط محیطی و مراحل مختلف رشد بر عملکرد محصول و درصد اسانس آویشن مشخص گردید که شرایط محیطی و سن گیاه بر عملکرد گیاه آویشن تأثیرگذار بود، به‌طوری‌که درصد اسانس از ۰/۳۲ تا ۰/۸۳ متغیر بود (Ozguven & Tansi, 1998).

وزن خشک برگ

اثرهای ساده چین برداشت، سیتوکینین و اثر متقابل چین در سیتوکینین روی وزن خشک برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که وزن خشک برگ تحت تأثیر غلظت‌های مختلف سیتوکینین در چین‌های برداشت متغیر بود (جدول ۴). در هر دو چین، با افزایش غلظت سیتوکینین، وزن خشک برگ افزایش معنی‌داری نشان داد. محلول‌پاشی سیتوکینین در چین اول برداشت، تأثیر افزایشی بیشتری بر وزن خشک برگ در مقایسه با چین دوم داشت. به‌طور کلی، بیشترین وزن خشک برگ (۲۶۰۸ کیلوگرم در هکتار) تحت تأثیر محلول‌پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در چین اول تولید شد (جدول ۴) که در مقایسه با عدم محلول‌پاشی سیتوکینین (شاهد) در برداشت دوم (۸۶۸ کیلوگرم در هکتار) حدود ۲۰۰ درصد وزن خشک برگ را افزایش داد (جدول ۴). محلول‌پاشی با هورمون سیتوکینین با افزایش تعداد و اندازه سلول (Rohamare *et al.*, 2013) باعث بزرگ شدن برگ‌ها می‌گردد که از این طریق می‌تواند باعث افزایش وزن خشک برگ گردد. گزارش شده است که محلول‌پاشی با سیتوکینین روی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) و بادرنجبویه بیشترین شاخص سطح برگ را نسبت به شاهد داشت (Noroozi Shahri, Jalali Honarmand, Saeidi, & Mondani, 2020). بیشترین سهم برگ در گیاهان از اولین برداشت و کمترین آن در آخرین برداشت مشاهده شد. این احتمالاً ناشی از برگ‌زدایی و لیگنین شدن ساقه‌ها بوده است (Beata & Kieltyka-Dadasiewicz, 2015).

وزن خشک ساقه

اثرات ساده چین برداشت، سیتوکینین و اثر متقابل چین در سیتوکینین در سطح احتمال یک درصد روی وزن خشک ساقه آویشن معنی‌دار شدند (جدول ۳). وزن خشک ساقه تحت تأثیر غلظت‌های مختلف سیتوکینین در دو چین برداشت متفاوت بود، به‌طوری‌که چین اول در مقایسه با چین دوم برداشت، تحت تأثیر تمام غلظت‌های سیتوکینین وزن خشک ساقه بیشتری تولید کرد (جدول ۴). در هر دو چین برداشت، تمام غلظت‌های سیتوکینین در مقایسه با عدم کاربرد آن باعث افزایش وزن خشک ساقه گردید. در هر دو چین برداشت، محلول‌پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین، بیشترین وزن ساقه را تولید کرد. به‌طور کلی، بیشترین وزن خشک ساقه (۱۷۴۷ کیلوگرم در هکتار) تحت تأثیر محلول‌پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در چین اول برداشت به دست آمد (جدول ۴). گزارش شده است که تنظیم‌کننده‌های رشد به‌طور قابل توجهی بر اجزاء عملکرد، عملکرد و ترکیب اسانس گل رز (*Rosa damascena* Mill.) تأثیر داشتند. تعداد گل‌های گیاه (۷۳/۳ گل) و وزن تر گل (۲۰۳/۵ گرم) در تیمار ۱۵ میلی‌گرم دی‌فنیل اوره در لیتر در مقایسه با سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. کاربرد ۱۵ میلی‌گرم در لیتر دی‌فنیل اوره، ۳۰ و ۳۵ میلی‌گرم در لیتر کینتین، عملکرد گل تازه را به‌ترتیب ۵۶، ۴۱/۶ و ۳۵/۸ درصد در مقایسه با شاهد افزایش دادند (Thakur & Kumar, 2020).

وزن خشک کل

اثرات ساده چین برداشت، سیتوکینین و اثر متقابل چین در سیتوکینین در سطح احتمال یک درصد روی وزن خشک کل معنی‌دار بودند (جدول ۳). چین برداشت و سیتوکینین تأثیر متفاوتی بر وزن خشک کل گیاه آویشن داشتند. براساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴)، غلظت‌های مختلف سیتوکینین در هر دو چین برداشت نسبت به شاهد (عدم کاربرد سیتوکینین) باعث افزایش وزن خشک کل شدند. وزن خشک کل در چین برداشت اول در مقایسه با چین برداشت دوم بیشتر بود. به‌طور کلی، بیشترین وزن خشک کل (۴۳۵۵ کیلوگرم در هکتار) تحت تأثیر کاربرد غلظت ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در چین اول به دست آمد که در مقایسه با کمترین وزن خشک کل (۱۴۸۳ کیلوگرم در هکتار) تحت تأثیر تیمار عدم کاربرد سیتوکینین در چین اول، حدود ۱۹۴ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). افزایش وزن ماده خشک کل می‌تواند به‌دلیل تأثیر مستقیم سیتوکینین بر افزایش صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، قطر ساقه و وزن خشک برگ و ساقه باشد که در نهایت موجب افزایش عملکرد ماده خشک کل می‌شود. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی می‌توانند باعث تغییر در برخی مسیرهای متابولیکی، عملکرد فتوسنتز، عملکرد و خصوصیات ریخت‌شناسی گیاهان شوند. علاوه‌براین، توصیف شده است که تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی می‌توانند از طریق افزایش سنتز پروتئین، فعالیت نیترات ردوکتاز، جذب آب و تغذیه معدنی، تولید و انتقال کربوهیدرات‌ها، بازده فتوسنتز و بیوسنتز رنگدانه‌ها، رشدونمو گیاه را بهبود بخشند (Muthulakshmi, & Pandiyarajan, 2015; Khan, Mujeeb, Aha & Farooqui, 2015; Dar *et al.*, 2015). محلول‌پاشی با سیتوکینین سبب افزایش صفات تعداد برگ، ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن تر و خشک گیاه بادمجان شد (Opabode & Owojori,

2018). تاریخ برداشت آویشن بر عملکرد گیاه و کیفیت آن تأثیر بسزایی داشت. همچنین، شرایط آب‌وهوایی در طول دوره رویشی، اثر زیادی بر عملکرد گیاه و تأثیر جزئی بر کیفیت آن بر جا گذاشت (Beata & Kieltyka-Dadasiewicz, 2015).

عملکرد اسانس

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثرات ساده چین برداشت، سیتوکینین و اثر متقابل چین در سیتوکینین در سطح احتمال یک درصد روی عملکرد اسانس معنی‌دار گردید (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد که عملکرد اسانس تولیدشده در هکتار در چین‌های مختلف تحت تأثیر محلول‌پاشی سیتوکینین متفاوت بود. به‌طور مثال، در هر دو چین، با افزایش غلظت سیتوکینین، عملکرد اسانس به‌شکل معنی‌داری افزایش نشان داد و این افزایش عملکرد اسانس در چین اول در مقایسه با چین دوم بیشتر بود. به‌طور کلی، محلول‌پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در چین اول باعث تولید بیشترین (۵۹/۹۵ کیلوگرم) اسانس در هکتار شد (جدول ۲) که در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد سیتوکینین) در چین اول و دوم به‌ترتیب ۱۰۸/۷ و ۲۱۷/۸۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). افزایش عملکرد اسانس به‌دلیل افزایش درصد اسانس و ماده خشک برگ تحت تأثیر محلول‌پاشی سیتوکینین از طریق بهبود شرایط رشد و افزایش بیوسنتز اسانس می‌باشد. در گیاه نعناع (*Mentha arvensis* L.)، استفاده از ۲۰۰ppm کینتین (نوعی سیتوکینین) منجر به افزایش تولید زیست‌توده شد که به افزایش عملکرد اسانس کمک کرد (Farooqi, Khan, & Sharma, 2003). کاربرد ۱۵ میلی‌گرم در لیتر دی‌فنیل اوره و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کینتین به‌ترتیب ۷۲/۸ و ۵۲/۸ درصد عملکرد اسانس را در مقایسه با شاهد افزایش دادند (Thakur & Kumar, 2020). تفاوت بین دو چین ممکن است به رشد مجدد گیاه و عوامل آب‌وهوایی نسبت داده شود (Abbaszadeh & Layegh Haghighi, 2013).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل چین× غلظت‌های سیتوکینین از نظر صفات مورد بررسی در گیاه آویشن

Table 4- Means comparison of cutting× cytokinin concentrations interaction in terms of the investigated traits of thyme

چین برداشت Cutting harvest	سیتوکینین Cytokinin (µM)	تعداد شاخه فرعی No. of branches	وزن خشک برگ Leaf dry weight (kg ha^{-1})	وزن خشک ساقه Stem dry weight (kg ha^{-1})	وزن خشک کل Total dry weight (kg ha^{-1})	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg ha^{-1})
چین اول First cutting	0	17.00^{d*}	1402^{e}	841^{def}	2244^{e}	28.72^{f}
	100	19.44^{c}	2082^{bc}	1341^{bc}	3423^{bc}	47.46^{bc}
	200	21.89^{b}	2362^{ab}	1541^{ab}	3903^{ab}	55.38^{ab}
	400	23.89^{a}	2608^{a}	1747^{a}	4355^{a}	59.95^{a}
چین دوم Second cutting	0	15.00^{e}	868^{f}	614^{f}	1483^{f}	18.86^{g}
	100	16.56^{d}	1347^{e}	791^{ef}	2139^{ef}	30.72^{ef}
	200	19.11^{c}	1622de	1101^{cde}	2723de	37.86^{de}
	400	21.00^{b}	1781^{cd}	1170^{bcd}	2951^{cd}	41.30^{cd}
LSD (5%)		1.21	335.50	373.70	681	7.99

* حروف مشابه در هر ستون، نشان‌دهنده عدم معنی‌داری بین تیمارها می‌باشد ($LSD \leq 0.5$).

* Similar letters in each column indicate non-significance between treatments ($LSD \leq 0.5$).

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تأثیر چین‌های برداشت و محلول‌پاشی سیتوکینین بر تولید اسانس و خصوصیات رشد رویشی آویشن باغی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که محلول‌پاشی سیتوکینین روی ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن خشک برگ، ساقه و کل، قطر ساقه، درصد و عملکرد اسانس معنی‌دار بود. همچنین، اثر چین برداشت روی تمامی این صفات (به‌جز درصد اسانس) معنی‌دار گردید. به‌علاوه، اثر متقابل چین در محلول‌پاشی سیتوکینین بر صفات تعداد شاخه جانبی، وزن خشک برگ و ساقه، وزن خشک کل و عملکرد اسانس معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته مربوط به محلول‌پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در سال سوم آزمایش بود. همچنین بیشترین ارتفاع بوته در چین اول برداشت به دست آمد. در هر سه سال آزمایش، با افزایش غلظت سیتوکینین، تعداد شاخه فرعی در بوته افزایش معنی‌داری نشان داد. بیشترین تعداد شاخه فرعی در تیمار محلول‌پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در چین اول برداشت حاصل شد. با افزایش غلظت سیتوکینین، قطر ساقه در مقایسه با عدم کاربرد آن افزایش معنی‌داری یافت. در هر سه سال آزمایش، قطر ساقه در چین اول نسبت به چین دوم برداشت بیشتر بود. با افزایش غلظت سیتوکینین، درصد اسانس افزایش یافت. بیشترین درصد اسانس (۲/۳۵ درصد) با محلول‌پاشی

۲۰۰ میکرومولار سیتوکینین حاصل شد. به‌ترتیب بیشترین و کمترین درصد اسانس در سال ۱۳۹۹ و ۱۳۹۷ حاصل شد. وزن خشک برگ، ساقه و کل تحت تأثیر غلظت‌های سیتوکینین در چین‌های برداشت متغیر بود. بیشترین وزن خشک برگ (۲۶۰۸ کیلوگرم در هکتار)، وزن خشک ساقه (۱۷۴۷ کیلوگرم در هکتار) و وزن خشک کل (۴۳۵۵ کیلوگرم در هکتار) تحت تأثیر کاربرد غلظت ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در چین اول به دست آمد. عملکرد اسانس تولیدشده در هکتار در چین‌های مختلف تحت تأثیر محلول‌پاشی سیتوکینین متفاوت بود. افزایش عملکرد اسانس در چین اول در مقایسه با چین دوم بیشتر بود. محلول‌پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین در چین اول باعث تولید بیشترین اسانس (۵۹/۹۵ کیلوگرم در هکتار) شد. به‌طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که محلول‌پاشی سیتوکینین در هر دو چین برداشت باعث افزایش عملکرد کمّی آویشن گردید. بااین‌حال، این افزایش در چین اول در مقایسه با چین دوم در تمام صفات مورد بررسی بیشتر بود. براساس نتایج این مطالعه، برای افزایش تولید اسانس و صفات رویشی آویشن باغی، محلول‌پاشی ۴۰۰ میکرومولار سیتوکینین (به‌ویژه در چین اول برداشت) توصیه می‌گردد.

References

1. Abbaszadeh, B., & Layegh Haghighi, M., (2013). Effect of nutrition and harvest time on growth and essential oil content of *Thymus vulgaris* L. *Journal of Medicinal plants and By-Product*, *2*(2), 143-151. (in Persian). https://doi.org/10.22092/jmpb.2013.108587
2. Abdel Latef, A. A. H., Akter, A., & Tahjib-Ul-Arif, M. (2021). Foliar application of auxin or cytokinin can confer salinity stress tolerance in *Vicia faba* L. *Agronmy Journal*, *11*(4), 790. https://doi.org/10.3390/agronomy11040790
3. Akbarinia, A., Sharifi Ashoorabadi, E., & Mirza, M. A. H. D. I. (2010). Study on drug yield and essential oil content and composition of *Thymus daenensis* Celak. Under cultivated condition. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *26*(2), 205-212. (in Persian). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2010.6863
4. Amani Machiani, M., Javanmard, A., Ostadi, A., & Morshedloo, M. R. (2021). Evaluation of essential oil yield and ecological indices in the intercropping of thyme (*Thymus vulgaris* L.) and soybean (*Glycine max* L.) with application of arbuscular mycorrhizal fungus. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *31*(3), 31-50. (in Persian). https://doi.org/10.22034/saps.2021.13687
5. Azizi, P., Rafii, M. Y., Maziah, M., Abdullah, S. N. A., Hanafi, M. M., Latif, M. A., Rashid, A. A., & Sahebi, M. (2015). Understanding the shoot apical meristem regulation: A study of the phytohormones, auxin and cytokinin, in rice. *Mechanisms of Development*, *135*, 1-15. https://doi.org/10.1016/j.mod.2014.11.001
6. Beata, K. R. O. L., & Kieltyka-Dadasiewicz, A. (2015). Yield and herb quality of thyme (*Thymus vulgaris* L.) depending on harvest time. *Turkish Journal of Field Crops*, *20*(1), 78-84. https://doi.org/10.17557/.89347
7. Bybordi, A. (2007). Effect of foliar applications of Iron and Zinc on the yield and quality of white qom and red ray onion varieties in grown Khosrowshahr regions. *Pajouhesh and Sazandegi*, *74*, 153-160. (in Persian).
8. Carey, D. J., Whipker, B. E., McCall, I., & Buhler, W. (2008). Cytokinin based PGR affects growth of vegetative petunia. In Proceedings of the 35th Annual Meeting of the Plant Growth Regulation Society of America, San Francisco, CA, USA, 3–7 August; Plant Growth Regulation Society of America: Atlanta, GA, USA.
9. Dar, T. A. M., Uddin, M., Khan, M. A., Ali, A., Hashmi N., & Idrees, M. (2015). Cumulative effect of gibberellic acid and phosphorus on crop productivity, biochemical activities and trigonelline production in *Trigonella foenumgraecum* L. *Cogent Food and Agriculture*, *1*, 1-14. https://doi.org/10.1080/23311932.2014.995950
10. Doustipour, S., Barmaki, M., Hassanpanah, D., & Khomari, S. (2016). Study the effects of synthetic cytokinin on growth and yield of potato cultivares. M.Sc. Dissertation, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (In Persian).
11. Farooqi, A. H. A., Khan, A., & Sharma, S. (2003). Effect of kinetin and chlormequat chloride on growth, leaf abscission and essential oil yield in *Mentha arvensis*. *Indian Perfumer*, *47*(4), 359-363.
12. Gershenzon, J. (1994). Metabolic costs of terpenoid accumulation in higher plants. *Journal of Chemical Ecology*, *20*, 1281-1328. https://doi.org/10.1007/BF02059810
13. Grzesik, M. (1989). Factors influencing the effectiveness of growth regulators in nursery production. *Acta Horticulturae*, *251*, 371–375.
14. Halmann, M., Frei, A., & Steinfeld, A. (2002). Thermo-neutral production of metals and hydrogen or methanol by the combined reduction of the oxides of zinc or iron with partial oxidation of hydrocarbons. *Energy*, *27*(12), 1069-1084. https://doi.org/10.1016/S0360-5442(02)00080-4
15. Honig, M., Plihalova, L., Husickova, A., Nisler, J., & Doležal, K. (2018). Role of cytokinins in senescence, antioxidant defence and photosynthesis. *International Journal of Molecular Sciences*, *19*, 4045. https://doi.org/10.3390/ijms19124045
16. Hornok, L. (1992). Cultivation and Processing of Medicinal Plants. Academiai Kiado. Budapest, Hungary. 338 p.
17. Khan, A. F., Mujeeb, F., Aha, F., & Farooqui, A. (2015). Effect of plant growth regulators on growth and essential oil content in palmarosa (*Cymbopogon martinii*). *Asian Journal Pharmaceutical Clinical Research*, *8*(2), 373-376.

18. Khan, M. M. A., Afreen, R., Quasar, N., Khanam, N., & Uddin, M. (2023). Steam-mediated foliar application of catechol and plant growth regulators enhances the growth attributes, photosynthesis, and essential oil production of lemongrass [*Cymbopogon flexuosus* (Steud.) WATS]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *48*, 102638. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102638
19. Khetsha, Z. P., Sedibe, M. M., Pretorius, R. J., & van der Watt, E. (2021). Cytokinin, gibberellic acid and defoliation on density and morphology of trichome of pelargonium graveolens l'hér for essential oil biosynthesis. *Agrociencia*, *55*(4), 331-346. https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i4.2481
20. Mahdy, H. A. A., Mubarak, D. M., El-Azab, M. E., Mohammed, K. A. S., & Abd El-Rheem, K. M. (2019). Effect of foliar spraying with amino acid and cytokinin on growth, yield quality and quantity of nutritional status of roselle plants. *Bioscience Research*, *16*(1), 102-109. https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i4.2481
21. Meier, U. (2018). Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH Monograph. Julius Kuhn-Institute (JKI). Quedlinburg, Germany. https://doi.org/10.5073/20180906-074619
22. Muthulakshmi, S., & Pandiyarajan, V. (2015). Effect of Iaa on the Growth, Physiological and Biochemical Characteristics in *Catharanthus roseus* L. G. Don. *International Journal of Science and Research*, *4*(3), 442-48.
23. Naghdi Badi, H., Labbafi, M. R., Qavami, N., Qaderi, A., Abdossi, V., Agharebparast, M. R., & Mehrafarin, A. (2015). Responses of quality and quantity yield of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) to foliar application of bio-stimulator based on amino acids and methanol. *Journal of Medicinal Plants*, *14*(54), 146-158. https://dorl.net/dor/20.1001.1.2717204.2015.14.54.12.5
24. Noroozi Shahri, F., Jalali Honarmand, S., Saeidi, M., & Mondani, F. (2020). Evaluation of growth phytohormones and different concentrations of plant derived smoke applications on growth characteristics and biological yield of medicinal plants Lemon balm (*Melissa officinalis*) and Basil (*Ocimum basilicam). Journal of Crops Improvement*, *22*(1), 89-102. https://doi.org/10.22059/jci.2019.280801.2211
25. Omidbeigi R. (2000). Production and processing of medicinal plants. Volume I, Second Edition, Tarahan Publication, Iran. 424 pp. (in Persian).
26. Opabode, J. T. & Owojori, S. (2018). Response of African eggplant (*Solanum macrocarpon* L.) to foliar application of 6-benzylaminopurine and gibberellic acid. *Journal of Horticultural Research*, *26*(2), 37-45. https://doi.org/10.2478/johr-2018-0014
27. Ozguven, M., & Tansi, S. (1998). Drug yield and essential oil of *Thymus vulgaris* L. as in influenced by ecological and ontogenetical variation. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *22*, 537-542.
28. Palai, S. K., Rout, G. R., & Das, P. (1997). Micropropagation of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.)-interaction of growth regulators and culture conditions. Biotechnology of spices, medicinal and aromatic plants. India: Indian Society for Spices, Kerala. 20-24.
29. Prakash, V. (1990). Leafy Spices. CRS Press. Boca Ra. U.S.A. 114 p.
30. Rohamare, Y., Nikam, T. D., & Dhumal, K. N. (2013). Effect of foliar application of plant growth regulators on growth, yield and essential oil components of ajwain (*Trachyspermum ammi* L.). *International Journal of Seed Spices*, *3*(2), 34-41.
31. Safaii, L., Ashoorabadi, E. S., Emami, S. D., & Afiuni, D. (2014). The effect of harvesting stages on quantitative and qualitative characters of essential oil and phenolic yield composition in two thyme species (*Thymus daenensis* Celak and *T. vulgaris* L.) in Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, *7*(13), 1346.
32. salek Mearaji, H., Tavakoli, A., & Niazsepahvand, A. A. (2020). The Effect of cytokinin on physiological and related traits with yield of quinoa under drought stress conditions. *Journal of Crops Improvement*, *22*(3), 419-432. https://doi.org/10.22059/jci.2020.292821.2298
33. Silva, A. S., Tewari, D., Sureda, A., Suntar, I., Belwal, T., Battino, M.,& Nabavi, S. F. (2021). The evidence of health benefits and food applications of *Thymus vulgaris* L. *Trends in Food Science and Technology*, *117*, 218-227. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.010
34. Sosnowski, J., Truba, M., & Vasileva, V. (2023). The impact of auxin and cytokinin on the growth and development of selected crops. *Agriculture*, *13*(3), 724. https://doi.org/10.3390/agriculture13030724
35. Sudria, C., Palazon, J., Cusido, R., Bonfill, M., Pinol, M. T., & Morales, C. (2004). Effect of benzyladenine and indolebutyric acid on ultrastructure, glands formation, and essential oil accumulation in *Lavandula dentata* plantlets. *Physiol Plant*, *44*(1), 1-6.
36. Thakur, M., & Kumar, R. (2020). Foliar application of plant growth regulators modulates the productivity and chemical profile of damask rose (*Rosa damascena* Mill.) under mid hill conditions of the western Himalaya. *Journal Industrial Crops and Products*, *158*, 113024. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113024
37. Ullah, A., Manghwar, H., Shaban, M., Khan, A. H., Akbar, A., Ali, U., Ali, E., & Fahad, S. (2018). Phytohormones enhanced drought tolerance in plants: A coping strategy. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*, 33103–33118. https://doi.org/10.1007/s11356-018-3364-5
38. Valiyari, M., & Nourafcan, H. (2018). Effect of IAA and BAP on morphophysiological traits of lemon balm. *Agroecology Journal*, *13*(4), 23-32. (In Persian).
39. Wang, Y., Li, J., Yang, L., & Chan, Z. (2023). Melatonin antagonizes cytokinin responses to stimulate root growth

in Arabidopsis. *Journal of Plant Growth Regulation*, *42*(3), 1833-1845. https://doi.org/10.1007/s00344-022-10663-9

40. Zahid, G., Iftikhar, S., Shimira, F., Ahmad, H. M., & Kaçar, Y. A. (2023). An overview and recent progress of plant growth regulators (PGRs) in the mitigation of abiotic stresses in fruits: A review. *Scientia Horticulturae*, *309*, 111621. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111621
41. Rademacher, W. (2015). Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. *Journal of Plant Growth Regulation*, *34*, 845-872. https://doi.org/10.1007/s00344-015-9541-6
42. Affonso, V. R., Bizzo, H. R., Lage, C. L. S., & Sato, A. (2009). Influence of growth regulators in biomass production and volatile profile of in vitro plantlets of *Thymus vulgaris* L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *57*(14), 6392-6395. https://doi.org/10.1021/jf900816c
43. Bahman, S., Mehrafarin, A., & Naghdi Badi, H. (2017). Influence of gibberellic acid, indole butyric acid, and methanol on morpho-physiological and phytochemical traits in *Thymus vulgaris* L. *Journal of Medicinal Plants*, *16*(61), 33-44. https://dorl.net/dor/20.1001.1.2717204.2017.16.61.8.9